

## 조류제거 효과에 대한 Top-down 어류 조작실험

이 상 재 · 이 재 연 · 안 광 국\*

(충남대학교 생명과학부)

**Top-down Fish Biomanipulation Experiments on Algal Removal Effects. Lee, Sang-Jae, Jae-Yon Lee and Kwang-Guk An\* (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764)**

This study was to test algal removal efficiency by top-down fish biomanipulation experiments in the laboratory during August~September 2006. We selected eight candidate fishes for the biomanipulation. We set up the experiments of eight fish-treatment tanks (3~6 fishes) with initial chlorophyll-*a* concentrations (CHL-*a*) of 100~120  $\mu\text{g L}^{-1}$  and one control tank including no fish with the same initial CHL-*a*. All tanks were maintained water quality of dissolved oxygen (5.3~8.2  $\text{mg L}^{-1}$ ) and pH (7.4~8.1) in the tests. During the biomanipulation, DO and pH in the treatments were lower than those of the control, while conductivity increased gradually in the treatments. Biomanipulation experiments showed that CHL-*a* increased 13% and 6% (mean values of 8 fishes) in the controls and treatments, respectively. These results indicate that algal growth was maintained in the control and fish treatments, but the rate of CHL-*a* in the treatments was lower than that of the control. The removal rates of bluegreens algae decreased 32% in the control, and 20% in treatments (mean values of 8 fishes) respectively. In other words, bluegreen algae showed greater growth rate in the fish treatments than the control and this was due to higher nutrients supplied from fish excretions. Overall, simple fish biomanipulation on algal control was not effective at all in these laboratory tests.

**Key words :** biomanipulation, fish, chlorophyll, bluegreen algae

### 서 론

최근 우리나라의 농업용 저수지는 농경지에서 유입되는 영양염류(N, P) 및 농촌지역의 생활하수·오수 등의 유입으로 빈번한 수화현상(algal bloom)과 이에 따른 어류 폐사가 보고되고 있다(이 등, 2006). 특히 여름철 남조류의 대발생은 대형댐 인공호의 식수에 다양한 독성 영향(예: Microcystin)뿐만 아니라 농업용 저수지의 부영양화에 의한 이·취미를 발생시켜 농업용수에도 많은 문제

를 야기시키고 있다(이 등, 2002). 이들은 대개의 분해활동에서 각종 유기물과 질소(N), 인(P) 등의 무기염류가 용출되어 수계의 부영양화를 반복, 심화시킬 뿐만 아니라, 용존산소 감소, 투명도 감소 및 심한 악취를 발생하며(Kolmakov *et al.*, 2002), 심지어 독특한 독소를 발생하여 어류는 물론 가축이나 인체 건강에 영향을 주는 것으로 나타났다(이 등, 2002).

이러한 다양한 문제들은 궁극적으로 조류의 대발생에 의해 야기되며 이를 해결하기 위한 다양한 물리적, 화학적, 생물학적 조류제거 방안이 전 세계적으로 검토되고

\* Corresponding author: Tel: (042) 821-6408, Fax: (042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

있다. 지금까지 알려진 조류 제거방법 중에 수중폭기, 전자선과 초음파에 의한 물리적인 방법이 부영양화된 호수 및 저수지에 적용되어 왔다(나 등, 2003; Ahn *et al.*, 2003). 화학적인 조류제어 방법으로는 철이나 알루미늄 첨가를 통해 인을 침전시켜 불활성화 시키는 방법,  $\text{CuSO}_4$ 와 같이 조류를 사멸시키는 능력이 탁월한 살조제를 살포하는 방법이 제시되고 있고, 생물학적인 제어방법으로는 다양한 미생물 및 원생생물이 이용되고 있다.

조류제어에 대한 경제적·생태학적 측면에서, 물리·화학적인 방법은 직접적이고 효과가 빠른 반면 비용이 많이 들고, 대상조류를 제외한 다른 조류에도 동시에 작용함으로써 수중생태계의 먹이연쇄를 교란 시키는 단점이 있으며(Sigeo *et al.*, 1999), 생물학적 방법 역시 전자에 비해 경제적인 이점은 있으나 아직까지도 실험적 연구 수준에 머물고 있다. 특히 후자가 수중 생태계의 급격한 혼란을 막고 현장에서 서식하는 소비자를 이용한다는 점에서 이상적인 방법으로 논의되고 있으나 아직 현장에 직접 이용한 사례는 극히 드물다.

한편 어류를 이용한 생물조작실험에서 백련어는 식물성플랑크톤을 섭취하는 어류로서 중위도의 수체 수질정화에 이용되어 왔다. 한편 모든 영양단계의 호수에 직접 적용되거나 조류의 종 구성이나 분포에 상관없이 폭넓게 사용된 사례는 미미하며(김 등, 2001), 치리를 이용한 남조류의 섭식제어능 연구에서도 효율성이 낮은 것으로 나타났다(농림부, 2005). 이러한 어류를 이용한 실험실적 연구는 제한된 먹이로 인한 영양 결핍, 스트레스에 의한 섭식 능력 저해, 먹이 연쇄와 같은 단계적 에너지 전달현상을 기대하기 어려워 자연호수에서와 같은 효과가 나타나지 못함으로 인해 연구가 활발히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 국내 저수지 및 호소의 수질 개선을 위해 1차적으로 가능한 후보 어류종을 선정하고, 어종별 조류제어 및 남조류 제어효과를 평가하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어종 선정

본 연구에서는 국내 농업용 저수지에서 비교적 우점하는 종을 고려하여 선별하였으며(윤 등, 2006), 최종적으로 8개 어종인 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 왜몰개(*Aphyocypris chinensis*), 갈납자루(*Acheilognathus korensis*), 줄몰개(*Gnathopo-*

*gon strigatus*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 흰줄납줄개(*Rhodeus ocellatus ocellatus*), 피라미(*Zacco platypus*)를 실험 대상 어종으로 선정하였다.

### 2. 어류에 의한 생물조절 실험 (Fish Biomanipulation)

본 연구에서는 9개의 실험용 수조( $20 \times 40 \times 25$  cm)에 초기의 엽록소(CHL-*a*) 농도를 맞추기 위해 인근호수 및 연못에서 식물성 플랑크톤 넷(mesh size:  $20 \mu\text{m}$ )를 이용하여 자연 개체군의 조류를 채집하여 실험실에서 1~2일 순화시켰다. 9개의 각각의 10 L 수조에 약  $100 \sim 120 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 초기 농도를 고정하였다. 수조는 1개의 대조군(control)과 8개의 실험군(fish treatments)로 대별하였으며, 실험군 수조에는 선정된 8개 어종의 체중을 고려하여 각각 참붕어 3개체, 치리 2개체, 왜몰개 3개체, 갈납자루 3개체, 줄몰개 2개체, 돌고기 3개체, 흰줄납줄개 6개체, 피라미 4개체씩 투입하였다. 실험용 수조는 실험실 내에서 광조건은 16 hr : 8 hr (Light : Dark)으로 유지되었고 영양염류의 순환 및 정체에 의한 식물성플랑크톤의 침강을 막기 위해 7일의 실험기간동안 지속적으로 산소를 공급하였다.

### 3. 수조 내 이화학적 수질 측정

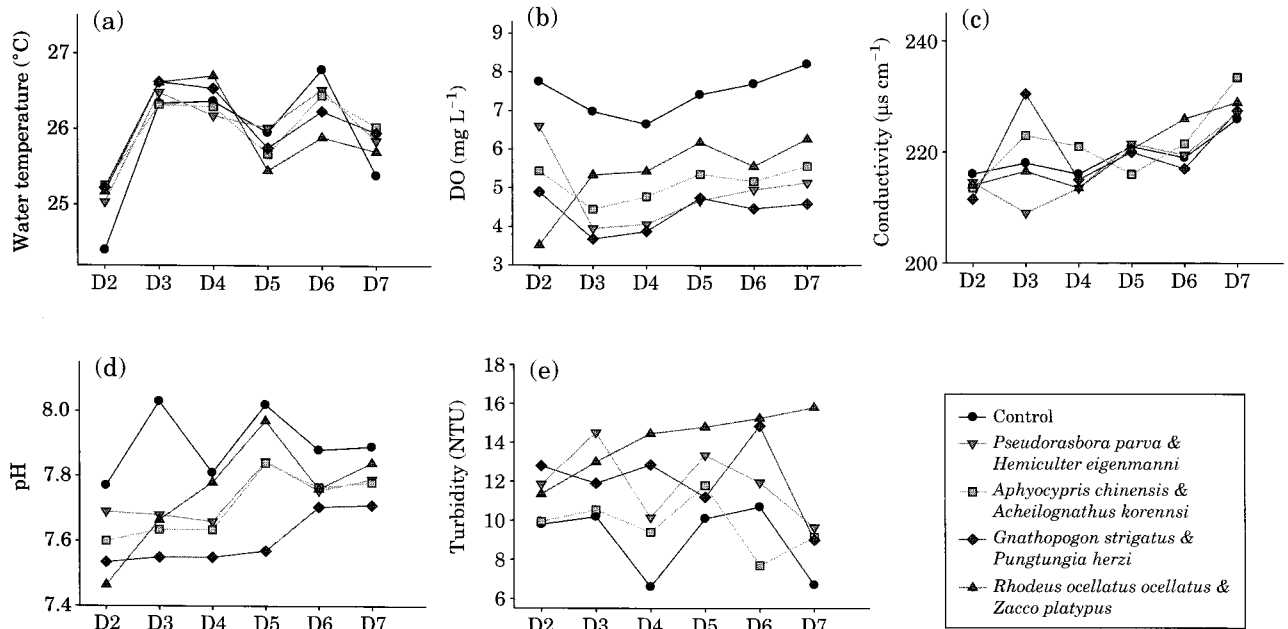
대조군(control)과 처리군(treatment)의 수조에서 온도(temperature), 용존 산소량(DO), 수소이온농도(pH), 전기전도도(conductivity) 및 탁도(turbidity)는 다항목수질 측정기(모델: YSI-6600 Sonde)를 이용하여 측정하였다.

### 4. 수조 내 녹조 및 남조 제거율 측정

각 수조별 녹조 제거율 평가를 위하여 7일 동안 같은 시간(PM: 06:00)에 각 수조별로 100 mL을 채수하여 흡광광도법(APHA, 1985)을 이용하여 엽록소-*a* (CHL-*a*)를 측정하였다. 흡광광도계(Spectrophotometer, Beckman DU 530)에 측정된 CHL-*a*의 데이터는 아래의 회귀식을 이용하여 실제 CHL-*a* 농도를 추정하였다(OD=Optical density; V=Sample volume).

$$\text{CHL-}a \text{ (}\mu\text{g L}^{-1}\text{)} = \frac{[13.7(\text{OD}_{649} - \text{OD}_{750}) - 5.76(\text{OD}_{649} - \text{OD}_{750})]}{V * 10}$$

남조류 측정은 MS-5 남조류 측정기(Hach company)를



**Fig. 1.** Physical and chemical conditions in the fish bioaccumulation experiments. The control had no fish in the tank and the treatments had various fish species in the tanks.

이용하여 각 수조별 남조류의 단위체적당 남조류 세포수 (cells · mL<sup>-1</sup>)를 측정하였다. 본 실험이 시행되는 7일 동안 매일 1회 같은 시간에 측정하여 시간에 따른 남조류 농도 변화를 측정하였다.

## 결 과

### 1. 수조별 이화학적 특성

수온은 대조군(control)에서 평균 25.9°C로 처리군(treatment)의 평균 온도 26.0°C와 비교하여 차이를 보이지 않았다(Fig. 1a). 용존산소(DO)는 대조군에서 평균 7.5 mg L<sup>-1</sup>, 처리군의 평균 DO는 4.9 mg L<sup>-1</sup>으로 나타나 실험 7일 동안 약 2.5 mg L<sup>-1</sup> 감소한 수치를 보였으며(Fig. 1b), 이는 어류에 의한 산소소비 및 배설물에 의한 유기물 증가에 의한 호기성 생물의 이용 때문인 것으로 판단되었다. 대조군의 평균 pH 7.9, 실험군의 평균 pH 7.7로 나타나(Fig. 1d) 차이가 없는 것으로 나타났다. 탁도(turbidity)는 대조군에서 평균 9.0 NTU, 실험군에서 평균 12.0 NTU로 나타났으며(Fig. 1e), 이는 어류 분뇨 증가에 따른 수치 증가로 판단되었다. 대조군의 평균 전기전도도(conductivity 25°C)는 219.3 μs cm<sup>-1</sup>, 처리군에서는 평균 216.4 μs cm<sup>-1</sup>을 나타내었으며 각 수조별로 변

동 폭이 약 10 μs cm<sup>-1</sup> 전후로 나타나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다(Fig. 1c).

### 2. 어종별 녹조 및 남조 제거 특성분석

#### 1) 대조군(Control)

대조군(control)의 CHL-*a*는 초기값 112 μg L<sup>-1</sup>에서 점차 증가하여 실험 3일째 147 μg L<sup>-1</sup>로써 최대치를 보였으며 이후 점차 감소하는 경향을 나타냈으며 실험 7일째는 127 μg L<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 2). 한편 남조류(Blue-green algae) 농도는 초기값 6.6 × 10<sup>3</sup> cells · mL<sup>-1</sup>에서 실험 2일째 7.3 × 10<sup>3</sup> cells · mL<sup>-1</sup>로 최대치를 보였으며, 이후 점차 감소하는 경향을 나타내 7일째는 4.5 × 10<sup>3</sup> cells · mL<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 3).

#### 2) 참붕어 (*Pseudorasbora parva*)

참붕어가 투여된 실험에서 CHL-*a*는 118~163 μg L<sup>-1</sup>에서 변화하는 것으로 나타났다. CHL-*a*는 초기값 118 μg L<sup>-1</sup>에서 점차 증가하여 실험 3일째 163 μg L<sup>-1</sup>로써 최대치를 보였으며, 실험 4일째 한 차례 감소한 이후 서서히 증가하는 경향을 나타내 7일째는 146 μg L<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 2a). 참붕어의 CHL-*a* 제거율은 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며 초기 제거율 -17%에서 최종 제거율이 -23%로 나타나 여전히 조류생장이 이루어지는

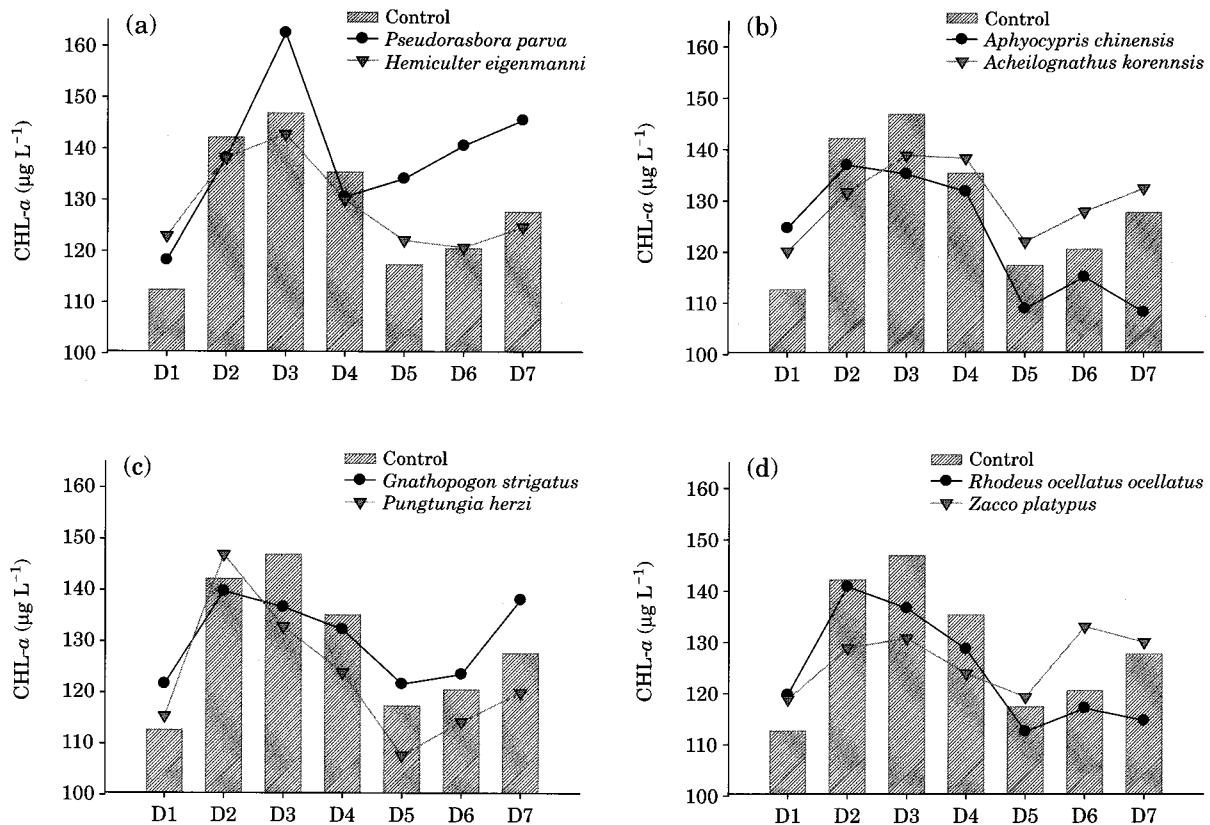


Fig. 2. CHL-a concentrations in the control and treatments [(a): *Pseudorasbora parva* and *Hemiculter eigenmanni*, (b): *Aphyocypris chinensis* and *Acheilognathus korensis*, (c): *Gnathopogon strigatus* and *Pungtungia herzi*, (d): *Rhodeus ocellatus ocellatus* and *Zacco platypus*].

것으로 사료되었다(Fig. 4a). 한편 남조류는 초기값  $6.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 실험 2일째  $6.7 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 최대치를 보였으며, 이후 점차 감소하는 경향성을 보이면서 7일째는  $5.7 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 3a). 참붕어의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향성을 띄어 초기 제거율 -2%에서 최종 제거율이 14%를 보였으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 참붕어에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료 되었다(Fig. 5a).

### 3) 치리 (*Hemiculter eigenmanni*)

치리가 투여된 실험에서의 CHL-a는 초기값  $123 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 점차 증가하여 실험 3일째  $143 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며, 이후 점차 감소하는 경향성을 나타내다 7일째는  $125 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2a). 치리의 CHL-a 최종제거율은 -2%로 나타났으나 대조군의 제거율과 비교한 순제거율에서 12%의 제거효과가 있는 것으로 나타났다(Fig. 4a). 한편 남조류는 초기값  $6.7 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 실험 2일째  $7.3 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 최대치를

보였으며, 이후 점차 감소하는 경향성을 보이면서 7일째  $5.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 3a). 치리의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향성을 보였으며 최종 제거율이 24%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 치리에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료 되었다(Fig. 5a).

### 4) 왜물개 (*Aphyocypris chinensis*)

왜물개가 투여된 실험에서 CHL-a는 초기값  $125 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 실험 2일째  $137 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며, 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보이다가 6일째 소폭 증가하였으나 7일째  $108 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2b). 왜물개는 초기 제거율 -10%로 오히려 CHL-a가 증가하는 모습을 보였으나 이후 차츰 감소하는 경향으로 바뀌어 최종 제거율은 13%로 8종의 어류치리군 수조에서 가장 높은 제거효율을 보였다(Fig. 4b). 한편 남조류는 초기값  $6.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 실험 3일째  $7.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 최대치로 나타났고, 이후 점차 감소하는 경향성을 보이던

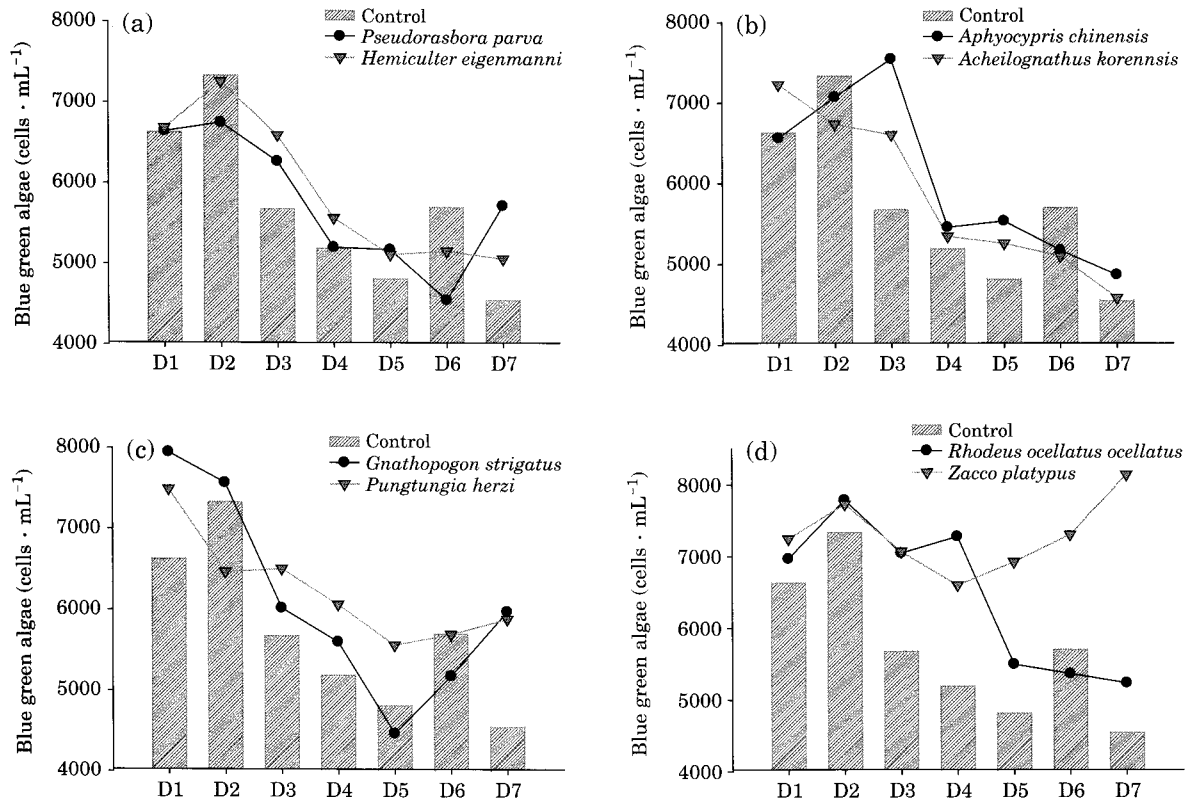


Fig. 3. The fluctuations of bluegreen algae cell number (cells · mL<sup>-1</sup>). Ditto with Fig. 2.

서 7일째  $4.9 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 3b). 왜물개의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향성을 초기 제거율 -8%에서 최종 제거율이 26%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 왜물개에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료되었다(Fig. 5b).

##### 5) 칼납자루 (*Acheilognathus korensis*)

칼납자루가 투여된 실험에서 CHL-a는 초기값  $120 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 실험 3일째  $139 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며, 실험 5일째  $122 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 감소하였다가 이후 다시 증가하여 7일째  $132 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2b). 칼납자루는 초기 제거율 -10%에서 최종 제거율이 -10%로 나타나 녹조 제거 효과가 거의 없는 것으로 사료 된다(Fig. 4b). 한편 남조류는 초기값  $7.2 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>에서 7일째는  $4.6 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>로 실험기간 내 꾸준한 감소 추이를 나타내었다(Fig. 3b). 칼납자루의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향성을 나타내었으며 초기 제거율 7%에서 최종 제거율이 37%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아

실질적으로 칼납자루에 의한 남조류 제거 효과는 거의 없는 것으로 사료되었다(Fig. 5b).

##### 6) 줄물개 (*Gnathopogon strigatus*)

줄물개가 투여된 실험에서 CHL-a는 초기값  $122 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 둘째날  $140 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며, 이후 실험 5일째까지 점차 감소하다 다시 증가하여 7일째는  $138 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2c). 줄물개의 CHL-a의 제거율은 초기 -15%에서 최종적으로 -14%을 보여 녹조 제거 효과가 없는 것으로 나타났다(Fig. 4c). 한편 남조류는 초기값  $7.9 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>에서 이후 꾸준히 감소하다 실험 5일째  $4.5 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>로 가장 낮은 값을 보였으나, 이후 다시 증가하여 7일째는  $6.0 \times 10^3$  cells · mL<sup>-1</sup>로 나타났다(Fig. 3c). 줄물개의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향을 보였으며 초기 제거율 5%에서 최종 제거율이 25%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 줄물개에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료되었다(Fig. 5c).

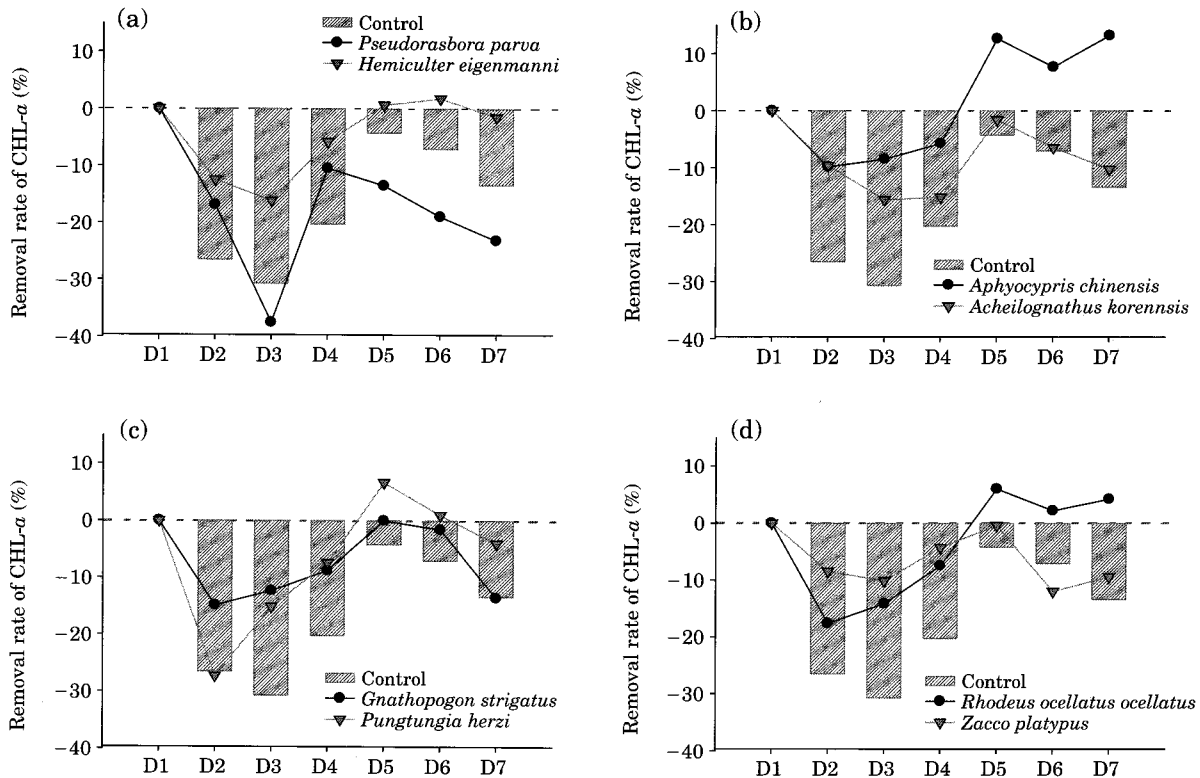


Fig. 4. Removal rates of CHL-a in the control and treatments. Ditto with Fig. 2.

### 7) 돌고기 (*Pungtungia herzi*)

돌고기가 투입된 실험에서 CHL-a는 초기값  $115 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 실험 2일째  $147 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며, 이후 점차 감소하여 실험 5일째  $108 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최저치를 보였으나 다시 증가하여 7일째는  $120 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2c). 돌고기의 CHL-a의 제거율은 초기 -27%에서 최종적으로 -4%로 나타나 녹조제거 효과가 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 4c). 한편 남조류는 초기값  $7.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 점차적으로 감소하다 5일째 되던 날  $5.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 이후 다시 증가하여 7일째는  $5.9 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 3c). 돌고기의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향을 보였으며 초기 제거율 14%에서 최종 제거율이 21%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 돌고기에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료되었다(Fig. 5c).

### 8) 흰줄납줄개 (*Rhodeus ocellatus ocellatus*)

흰줄납줄개가 투입된 실험에서 CHL-a는 초기값  $120 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 실험 2일째  $141 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최대치를 보였으며,

이후 점차 감소하는 경향을 나타내다 7일째는  $115 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2d). 흰줄납줄개의 CHL-a 최종 제거율은 4%로 나타났다(Fig. 4d). 한편 남조류는 초기값  $7.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 점차적으로 감소하는 경향을 보였으며 실험 5일째  $5.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 낮은 값을 나타냈고, 이후 더욱 감소하여 7일째는  $5.2 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 3d). 흰줄납줄개의 남조류 제거율은 전반적으로 점차 증가하는 경향을 보였으며 최종 제거율이 25%로 나타났으나 대조군에서의 남조류의 농도가 함께 감소하는 것으로 보아 실질적으로 흰줄납줄개에 의한 남조류 제거 효과는 없는 것으로 사료되었다(Fig. 5d).

### 9) 피라미 (*Zacco platypus*)

피라미가 투입된 실험에서 CHL-a는 초기값  $119 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 실험 5일째까지 소폭으로 증가 감소를 반복 하였다가 실험 6일째  $133 \mu\text{g L}^{-1}$ 로써 최고치를 보였으며 7일째는  $130 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2d). 피라미의 CHL-a의 제거율은 초기 -8%에서 최종적으로 -9%로 나타났다(Fig. 4d). 한편 남조류는 초기값  $7.2 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 점차적으로 감소하는 경향을 나타내다 실험 4일째  $6.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 최고치를 보였으며, 이후 점차적으

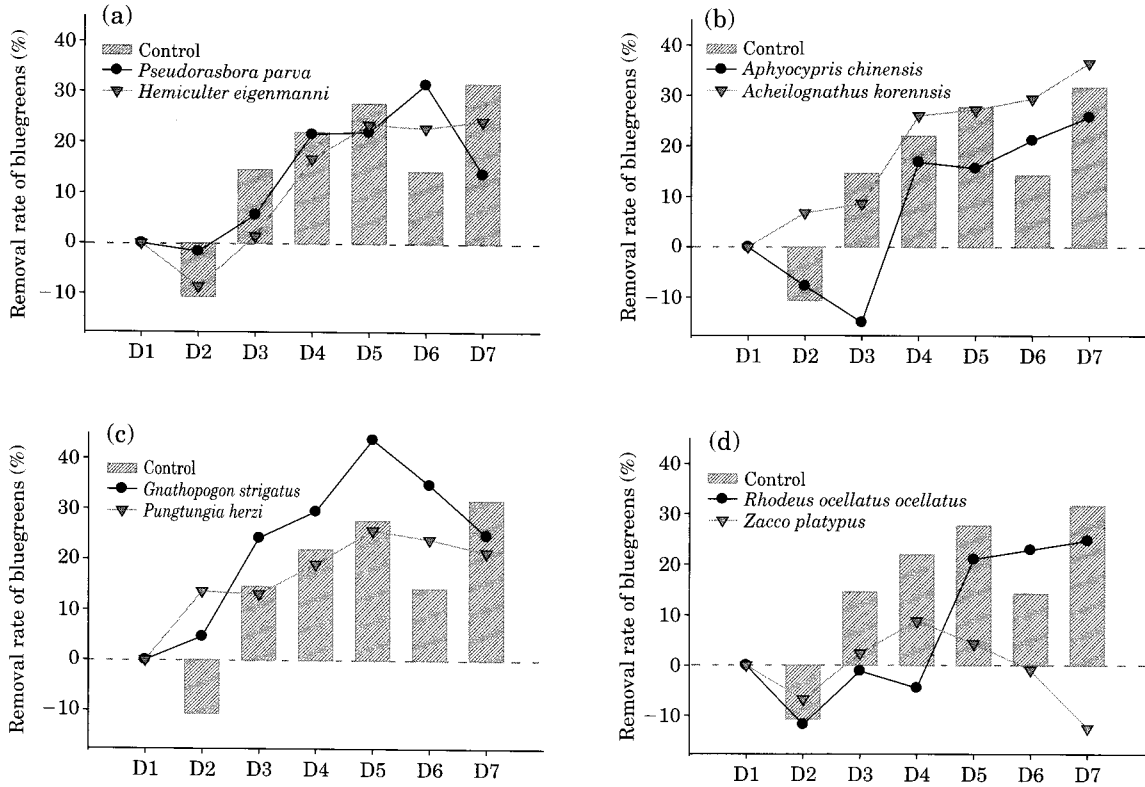


Fig. 5. Removal rates of bluegreen algae in the control and treatments. Ditto with Fig. 2.

로 증가하여 7일째는  $8.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다 (Fig. 3d). 피라미의 남조류 제거율은 뚜렷한 경향성 없이 초기 제거율 -7%에서 최종 제거율이 -12%로 나타났으며 남조류 제거효과가 미미한 것으로 나타났다(Fig. 5d).

### 고찰

본 연구에서 어류의 Top-down 조절실험에 의한 녹조 및 남조류의 제어 효과는 일부종에서 나타났지만 전반적으로 극히 미미한 것으로 나타나 현장에서 상기종에 의한 제어는 어려울 것으로 사료되었다. 국내에서 수행된 이전의 어류를 이용한 실험결과(김 등, 2001; 농림부, 2005)와는 달리 외국의 경우는 Top-down 조절에 의한 cascading 가설을 실험한 바가 있는데 몇몇 연구에서는 탁월한 효과를 보인 바 있다(Richters 1986; Starling, 1993; Prokopkin *et al.*, 2006). 어류투여 실험군(fish treatment)은 대조군(control)에 비해 용존산소(DO), 수소이온농도(pH)는 감소하였으며 전기전도도 및 탁도의 수치는 증가하는 것으로 나타났다. 즉 처리군에서의 이러한 변화는 어류의 분변 및 분비물에 의한 인(P)과 질소(N)의 증가 및 부유물의 증가로 인한 결과로 사료되었다. 한

편 녹조류 제거 효과 면에서는 왜물개를 제외한 다른 어종에서는 거의 없는 것으로 나타났다. 어류처리군은 조류를 제외한 다른 먹이원을 전혀 공급하지 않았음에도 불구하고 CHL-a의 농도가 점차 증가하였는데, 이는 어류가 조류를 거의 섭식하지 않았거나 어류의 섭식 속도보다 어류 분뇨에서 발생한 영양염에 의해 조류의 증식속도가 급증하였기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 대조군을 비롯하여 대부분의 어류처리군에서의 남조류의 농도는 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 대조군에서 시간이 지남에 따라 남조류의 자연사멸로 인하여 남조가 제거되는 것으로 나타나 실질적으로 어류는 남조류를 섭식하지 않거나 극미량 섭식하는 것으로 사료되었다. 본 연구는 단일종에 의한 직접적인 Top-down 효과를 실험하는 연구였으나, 향후 외국에서 처럼 트로픽 단계(Trophic level)를 달리한 실험을 시행할 경우 효과가 나타날지에 대한 연구 검증이 필요한 것으로 사료되었다.

### 적요

본 연구는 Top-down 어류조작 실험에 의한 조류제거

효과를 평가하는 것으로서, 실험대상 어종으로 국내 농업용 저수지에 우점하는 8종의 어류를 선정하였다. 대조군 수조 및 어류처리군 수조(3~6 개체)의 엽록소-a (CHL-a) 초기 농도는 100~120  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 고정하였으며 용존산소 5.3~8.2  $\text{mg L}^{-1}$ , 수소 이온농도는 pH 7.4~8.1를 유지시켰다. 실험기간 동안 어류 처리군 수조의 용존산소량과 수소이온농도가 대조군에 비해 낮게 측정된 반면 전기전도도는 점진적으로 증가하는 수치를 보였다. 한편 대조군과 어류처리군의 CHL-a는 각각 13%, 6%로 증가하여 여전히 조류의 생장이 이루어고 있음을 보였으나, 어류처리군에서 CHL-a 증가율은 대조군에서 보다 낮게 나타났다. 대조군과 어류처리군의 남조류는 각각 32%, 20% 감소를 보였으며, 남조류 생장률은 대조군보다 어류처리군에서 크게 나타났다. 이는 어류 배설물에 의한 영양염류의 증가로 인한 것으로 사료되었다. 따라서 본 연구결과 어류 조작에 의한 조류제거 효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 농림부 과제 “어류의 트로픽 구조분석 및 Top-down 조절기법을 이용한 농업용저수지 수질관리 기법개발”의 일환으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

- 김백호, 김윤호, 한명수. 2004. 겨울철 녹조발생 원인종 *Stephanodiscus hantzschii*의 생물학적제어를 위한 미소생물 제제의 적용실험, *육수지* **37**(2): 236-240.
- 김백호, 최민규, 고춘전자. 2001. 어린백련어의 성장에 대한 등, 식물 플랑크톤의 먹이기여도, *육수지* **34**(2): 98-105.
- 나은경, 신경숙, 장재현, 강 호. 2003. 전자선조사를 이용한 부영양화 호수의 조류제어에 관한 연구, 대한환경공학회 2003 춘계학술연구발표대회. p. 504-509.
- 농림부. 2005. 농업용 저수지의 녹조제어 기법개발. p. 487-495.
- 윤주덕, 장민호, 김명철, 남귀숙, 황순진, 주기재. 2006. 농업용 저수지의 어류군집 특성, *육수지* **39**(1): 131-137.
- 이은형, 서동일, 황현동, 윤진혁, 최재훈. 2006. 도시 하천에서의 어류 폐사 원인 분석. *대한상하수도학회* **20**(4): 573-584.
- 이정호, 박종근, 김은정. 2002. 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가, *한국조류학회지* **17**: 275-281.
- Ahn, CY, M.H. Park, S.H. Joung, H.S. Kim, K.Y. Jang and H.M. Oh. 2003. Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: Laboratory and enclosure studies. *Environ. Sci. Technol.* **37**: 3031-3037.
- Alberto, A., F.M.C. Antonio and R.V. Jose. Styanax fasciatus from a sewage-contaminated river. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **61**: 247-255.
- APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and waste water. 16th ed. New York, American Public Health Association. p. 1067-1072.
- Gosselain, V., J.-P. Descy, L. Virous, C. Joaquim-Justo, A. Hammer, A. Metens and S. Schweitzer. 1998. Geazing by large river zooplankton: a key to summer potamoplankton decline? The caes of Meuse and Moselle rivers in 1994 and 1995. *Hydrobiologia* **369/370**: 199-216.
- Kolmakov, V.I., N.A. Gaevskii, E.A. Ivanova, O.P. Dubovskaya, I.V. Gribovskaya and E.S. Kravchuk. 2002. Comparative analysis of ecophysiological characteristics of *Stephanodiscus hantzschii* Grun. In the periods of its bloom in recreational water bodies. *Russian J. Ecol.* **33**: 97-103.
- Prokopkin. I.G., V.G. Gubanov and M.I. Gladyshev. 2006. Modeling the effect of lanktivorous fish removal in a reservoir on the biomass of cyanobacteria. *Ecological Modelling*. **190**: 419-431.
- Reynold, D. 1985. The ecology of freshwater pytoplankton. Cambridge Univ Press. 384p.
- Richter. 1986. Biomanipulation and its feasibility for water quality management in shallow eutrophic water bodies in the Netherlands. *Aquatic Ecology*. **20**: 165-172.
- Sigee, D.C., R. Glenn, M.J. Andrews, E.G. Andrews, E.G. Belinger, R.D. Butler, H.A.S. Epton and R.D. Hendry. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. *Hydrobiologia* **395/396**: 161-172.
- Starling, F.L.R.M. 1993. Control of eutrophication by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the tropical Paranao reservoir (Brasilia, Brazil): a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* **257**: 143-152.

(Manuscript received 16 August 2007,  
Revision accepted 6 September 2007)